

総説 下顎位制御に関わる各種感覚情報

著者	宗形 芳英
雑誌名	東北大学歯学雑誌
巻	29
号	1
ページ	13-18
発行年	2010-06
URL	http://hdl.handle.net/10097/48732

総説

下顎位制御に関わる各種感覚情報

宗形 芳英

奥羽大学歯学部 口腔機能分子生物学講座 口腔生理学分野

Sensory inputs involved in control of mandibular position

Yoshiei Munakata

Division of Oral Physiology, Department of Oral Function and Molecular Biology,
Ohi University School of Dentistry

Abstract: The position of mandible was constantly regulated by several sensory inputs arising from oral-facial, head and neck regions. The control system of the jaw position was reviewed from the three viewpoints; perception of jaw position, reflex control and biofeedback control. The jaw position was perceived by using the sensory inputs from muscle and joint sensors. Periodontal and mucosal (underlying a denture) sensors also contributed to the position sense of jaw in occlusion. Jaw-jerk reflex elicited by muscle sensor played an important role in maintaining the rest position of mandible. Tonic neck reflex caused by the neck muscle and joint sensors regulated the jaw position. EMG biofeedback training was employed for treatment of deviated jaw position. A visual or sound signal in response to muscle activation during the repetitive tooth tapping movement was applied for feedback training.

Key words: mandibular position, sensory inputs, position sense, reflex control, EMG biofeedback

はじめに

上顎を基準とした下顎の3次元的位置を下顎位という。咀嚼、嚥下、発語時など顎口腔機能時にはまれに下顎位を意識し随意的に変化させることもあるが、通常は特に意識することはない。下顎位が意識に上る例としては、顎関節からクリック音が生じたり顎の開閉に不自由を感じたりするとき、生体に調和していない高さの義歯を装着したとき、うまく発語、発音できないときなどが挙げられ、たいいてい場合は生体にとって不都合が生じたときに多い。

図1に示されるように、下顎の位置は各種感覚受容器からの感覚情報によって絶妙にコントロールされている。本稿では、下顎位制御に関わる感覚情報の役割を整理するために、私がこれまでに関わることができた3つの研究テーマ（下顎位感覚による制御、顎および頭頸部の反射性制御、バイオフィードバック法による下顎位の制御）から解説を試みた。

下顎位感覚による制御

上下歯の間に物が介在しない空口時には、下顎の空間的な位置が主として顎関節の機械受容器と咀嚼筋特に閉口筋中の筋紡錘からの感覚情報によって受容されている。これはヒトの顎関節部に局所麻酔を施すと顎運動経路が定まりにくくなる¹⁾ことや、オトガイ部に振動刺激を加えて振動に敏感な筋紡錘の働きを乱すと下顎位感覚が変化してしまうこと²⁾から説明さ

れている。しかしながら、咬合している時や食物を咀嚼している時の下顎位感覚の受容には、歯根膜機械受容器からの歯の触圧感覚情報も関与するものと考えられる。

上下顎の前歯間で板を咬んだ時の下顎位を記憶し、板を咬まずに再現させると多くの被験者で約30%程度開口度が減少する³⁾。しかし、同様の実験を臼歯で行うと板を咬ませた時の下顎位が空口時でもほぼ正確に再現できる⁴⁾。すなわち、開口度が違わないのに前歯で咬合するか臼歯で咬合するかの違いだけで異なった下顎の位置として受容されることを意味しており、下顎の位置受容機構に歯根膜感覚が重要な役割を持つことを示している。

長年使われてきた全部床義歯を見ることがある。特にレジン

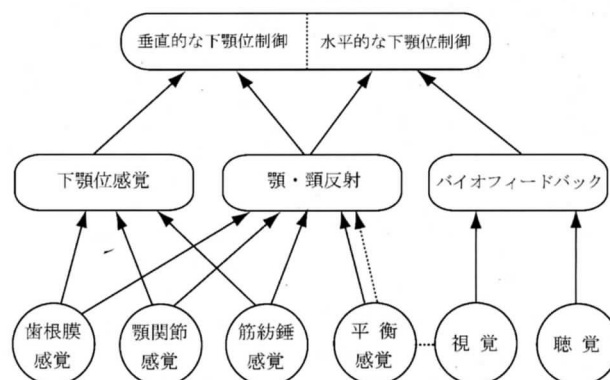


図1. 各種感覚情報による下顎位の制御
破線部分は現在検討中（図5参照）である。

臼歯の症例では臼歯部人工歯の咬頭は完全に磨耗して消失している。長年の使用で義歯の咬合の高さが新製時に比べかなり減少していると思われるが、その義歯が低いと訴える患者はまれである。低くなったと感じさせないような生理メカニズムを検証する必要がある。咬合時に義歯床下粘膜に負荷される咬合圧の分布パターンを調節できる装置を考案し、患者自身の感覚による最適な下顎位を測定すると、図2Aに示すように、前歯部に負荷される咬合圧の割合が相対的に増すほど、最適な下顎位がより閉口方向にシフトする⁵⁾。さらに、咬合圧の分布を一定に保持し、前歯部床下粘膜への圧刺激だけを変えられる装置(図2B)を用いて同様に最適な下顎位を測定すると、圧刺激強度が増すほど最適な下顎位が閉口方向にシフトする⁶⁾。これらの結果から、臼歯部人工歯の咬耗によって義歯の高さが減少しても、咬耗の進行が遅い前歯部人工歯の突き上げによって前歯部床下粘膜へ負荷される圧刺激が増大し、明らかに低い義歯であっても、この粘膜からの感覚情報により低いと感じることをできなくするような下顎位の受容機構の存在が推測される。

下顎位感覚の受容機構に果たす歯根膜感覚や義歯床下粘膜の役割について、筋感覚や顎関節感覚による主要な受容機構に対して外乱を与える役割しか持たないとの見解もある。しかし、この外乱とみなされる感覚情報が術者の意図するように制御可能であれば、臨床的には非常に有効な術式になりうると考えられる。

顎・頸筋反射による下顎位の制御

下顎は安静時ばかりでなく歩行の際にもわずかに開口した位置を保っている⁷⁾。下顎安静位と呼ばれるこの位置は自分の意思で随意的に調節しているのではなく、以下に述べるように、意識に上らない末梢からの感覚情報によって反射的に調節されている。

1. 下顎張反射

閉口反射の1つであり姿勢反射の役割を持つこの反射は、上述の下顎安静位の保持に大きく関わっている。この反射を誘発するための感覚入力は閉口筋群中の筋紡錘で、下顎を開口方向へ押し下げ閉口筋を伸張させると、その一次終末が興奮してインパルスが発生し、この筋紡錘からの感覚情報が単シナプス性に閉口筋を収縮させ下顎を元の位置に戻す⁸⁾。この反射が咬合力、咀嚼力の調節にも働いているとする報告がなされている^{9,10)}。

2. 歯根膜—咬筋(咀嚼筋)反射

ヒトの上下臼歯間に木片を挟み閉口筋に少し力を入れた状態を保持させておくように指示した条件下で上顎中切歯にタップ刺激を与えると、咬筋に反射性筋活動が現れる¹¹⁾。この反射の潜時は短く最短経路は単シナプス反射である。ラットの上顎中切歯への機械的刺激でも同様の反射性筋活動が発現する¹²⁾。短潜時の筋活動と長潜時の筋活動の2種類で、脳切断実

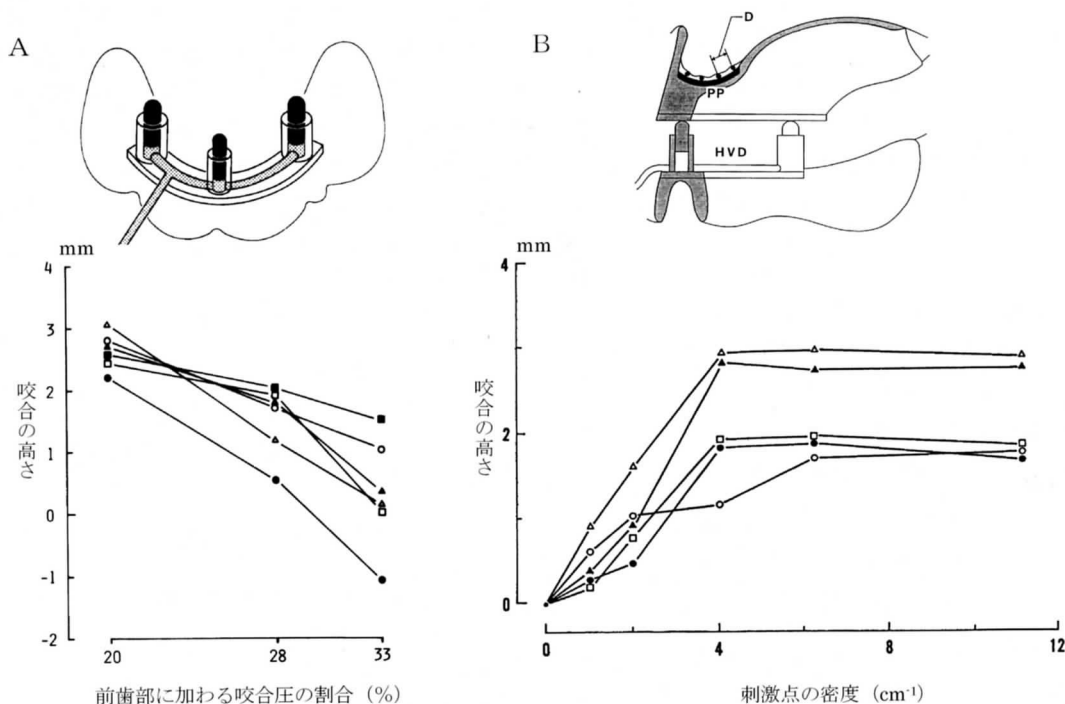


図2. 下顎位感覚に関わる義歯床下粘膜の感覚情報 (文献^{5,6)}より改変)

A. 咬合圧分布を変化させた場合の下顎位感覚の変化 (6名の結果) 縦軸下方が閉口方向

B. 前歯部義歯床下粘膜への圧刺激量変化させた場合の下顎位感覚の変化 (5名の結果) 縦軸上方が閉口方向

HVD: hydraulic vertical displacement meter, PP: punctuate plate, D: distance

験から短潜時 (7 msec) の成分は下顎張反射と同じく三叉神経中脳路核を経由し、長潜時 (10–60 msec) の成分は三叉神経脊髄路核を介することが確かめられている。歯根膜—咬筋反射は咬合によって生じた歯根膜圧覚情報がポジティブに閉口筋活動を賦活するように働くことから、食物の硬さに応じて咀嚼力を自動的に調節する機構に関係すると考えられている。

3. 開口反射

除脳動物の顔面皮膚、口唇、口腔粘膜、歯髄、歯根膜などに痛み刺激を与えると、開口筋の興奮と閉口筋の抑制によって一過性の急激な開口が誘発される¹³⁾。この反射は痛みを惹き起こすとは考えにくい弱い機械的刺激でも誘発される¹⁴⁾。ネコの歯根膜刺激で顎二腹筋前腹と顎舌骨筋を支配する顎舌骨筋神経に潜時の異なる 2 種類の反射性神経活動が誘発される¹⁵⁾。短潜時の応答 (4–6 msec) は刺激歯周囲への局所麻酔で容易に消失し、図 3 に示されるように主として前歯への刺激で誘発されやすいことから、生体への侵害刺激に対するの防御反射と考えられる。一方、長潜時の応答 (16–20 msec) は侵害刺激とは考えにくい弱い刺激で誘発され、図 3 に示されるように臼歯刺激でも発現し、さらに、中枢性の麻酔を深くすると消失する。長潜時応答の機能的役割については必ずしも明らかではないが、ラットの歯根膜刺激で誘発される歯根膜—咬筋反射の長潜時成分と潜時が類似している点が興味深い。ラットの長潜時成分の役割が咬合力発現に関係していることを考え合わせると、咀嚼時の咬合力発現時に機能していることが想定される。四肢においては主動筋の収縮の際にその拮抗筋が同時収縮し、主動筋が発現する収縮力の制御を行うことが知られている^{16,17)}。咬合力発現の初期に、主動筋である咬筋と同時に開口筋が収縮して

下顎位がしっかりと保持されるならば効率よく咬合力が発現できると考えられる。

4. 頸筋反射と緊張性頸反射

咀嚼、嚥下、発語などの顎口腔機能の際、顎運動に同期随伴した頭部運動と頸筋活動がしばしば観察される^{18,19)}。この頭部運動の機能的な役割については不明な点が多いものの、頸筋活動の多くが反射性に制御されている。

胸鎖乳突筋 (SCM) は、頭位の保持、運動に関わる代表的な頸筋の 1 つで、頭部の前屈、側傾、側屈運動に関わる。咀嚼機能時に閉口筋活動に同期して筋活動が現れる^{20,21)} ことが知られ、顎機能障害者の中にこの筋の痛みを訴えることがある。ヒト上顎前歯への圧刺激でこの筋に筋活動が現れる。この筋活動の成因として頭部運動による伸張反射由来とする報告^{22,23)} と、歯根膜感覚受容器由来の反射性筋活動であるとした報告²⁴⁾ がある。

ネコの顔面皮膚への機械刺激で背側頸筋 (頸背筋) 群に反射性の筋活動が現れる^{25,26)}。三叉—頸筋反射と呼ばれるこの反射性筋活動は、上顎前方部の歯、口腔粘膜などからの感覚情報を伝える上歯槽神経の電気刺激でも誘発される²⁷⁾。また、ラットにおいても歯根膜への機械的刺激で頸背筋群の 1 つである頸部板状筋に筋活動が認められる²⁸⁾。

歯根膜機械受容器からの感覚入力が頭部の前屈筋 (SCM) と後屈筋 (頸背筋) をほぼ同時に緊張させるため、頭部を固定するような役割を持つことが考えられる。

ヒトで頭部を前後に屈曲したり左右に回旋すると、側頭筋、咬筋、顎二腹筋の緊張が反射的に変化する²⁹⁾。緊張性頸反射と呼ばれる姿勢反射の 1 つで、上部頸椎の関節受容器や頸筋中の

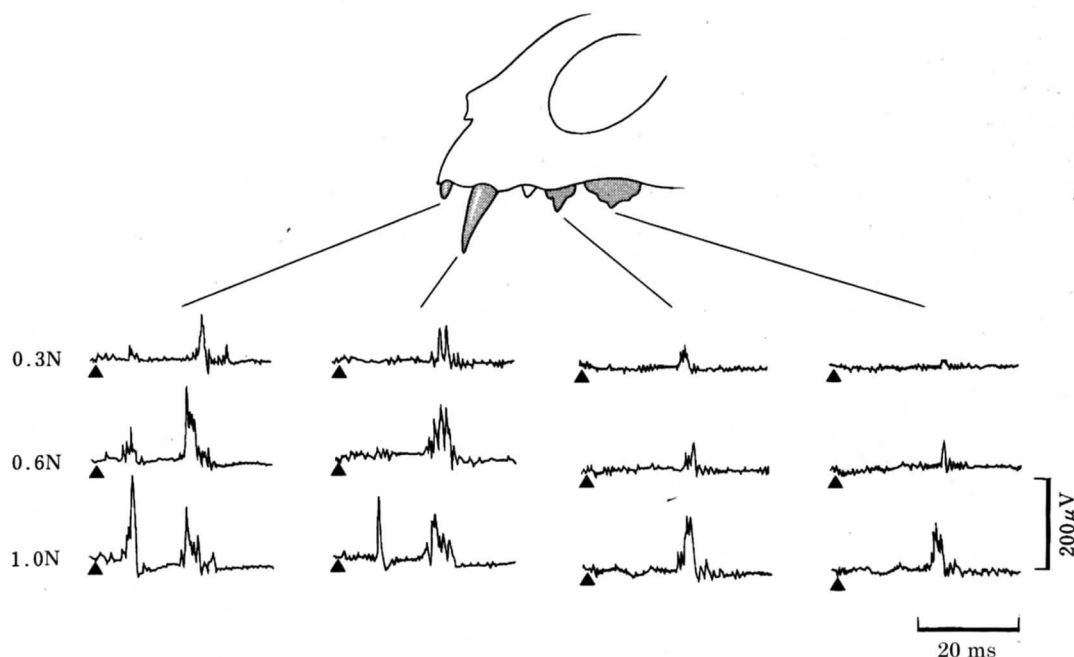


図 3. ネコの前歯と臼歯の叩打で誘発される開口反射応答 (文献¹⁵⁾ より改変)

筋紡錘からの感覚情報がこの制御機構に関わっている。下顎位との関連から眺めると、上体をまっすぐにしたまま、頭をゆっくりとできるだけ強く後屈させると、両側側頭筋の活動が著明に増大し、その結果、下顎は後方に移動する。また、頭部を左方向に回旋させると、同側の側頭筋、咬筋、顎二腹筋の活動が増大するのに対して対側の活動が抑制され減少することから、その結果、下顎が左方に移動する。このような頭位の変化と下顎位の変化には法則性があり、顎機能検査にしばしば利用される。

5. その他

身体の平衡は、視覚、平衡感覚および深部感覚が脳幹、小脳で統合され、運動器官である身体諸筋の反射によって維持される。臨床研究の下顎位と平衡機能との関係から、咬合状態が姿

勢の維持に深く関わっていることがこれまで多く報告されている。さらに、ラット前庭核への電気刺激により開口反射や閉口反射活動が影響を受けることが報告されている^{30,31)}。

バイオフィードバック法による下顎位の制御

バイオフィードバック法とは、生体内部から送られてくる情報を選択受容して外部に取り出し、これを聴覚・視覚などの特殊感覚系にフィードバックし、それを手がかりとする訓練を行い、特定部位の活動を制御しようとする臨床技術である³²⁾。EMG フィードバック、EEG フィードバックなどがあり、歯科領域では EMG フィードバックが開口訓練、顎関節症患者の咬合異常部位の診断と治療などに利用されている^{33,34)}。

EMG フィードバックによる咬合診断にはタッピング運動が

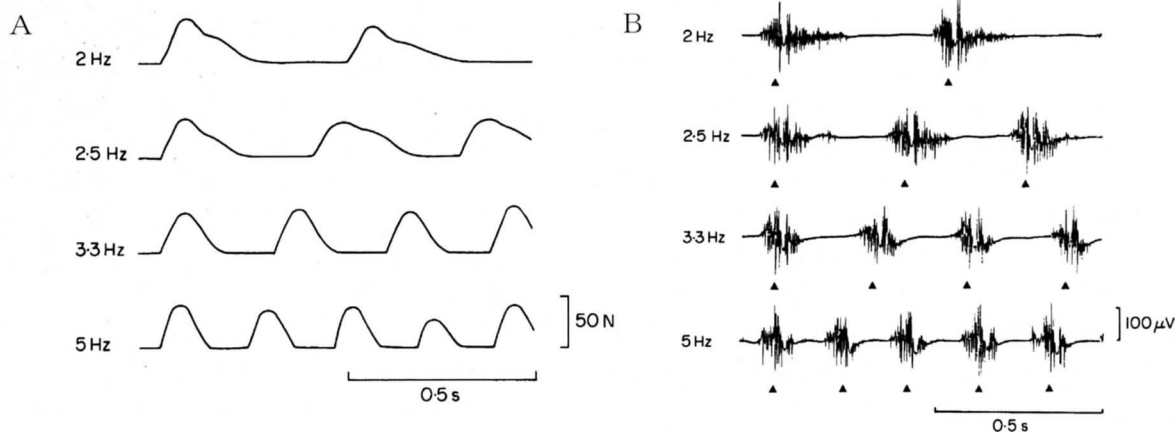


図4. 頻度の異なるタッピング運動による咬合圧 (A) と咬筋 EMG (B) の変化 (文献³⁸⁾より改変)

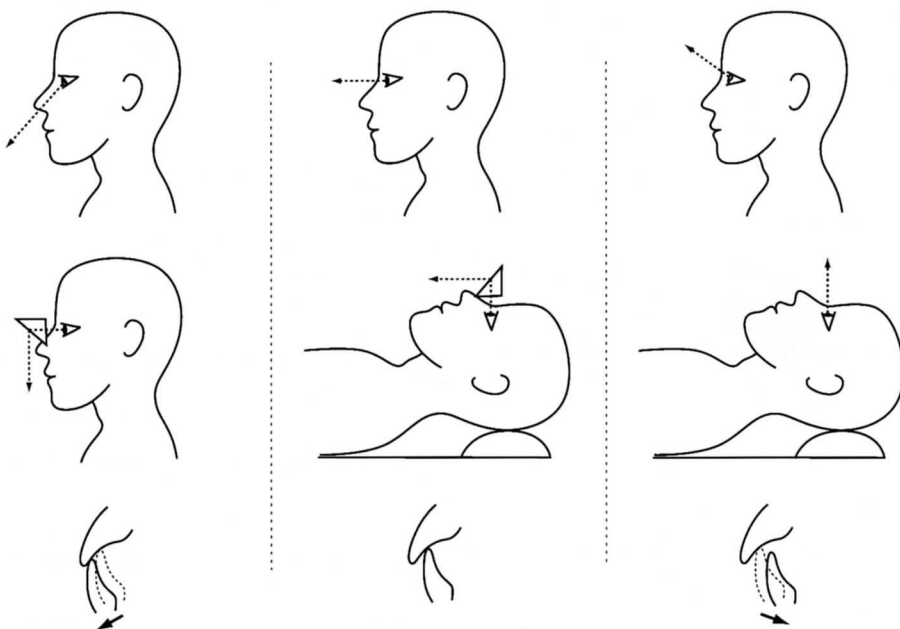


図5. 眼球を動かして視線方向を変化させた時と、プリズム眼鏡の装着で視線が変化した時の下顎位 (タッピングポイント) の変化 (未発表)

好んで用いられる³⁵⁾。下顎の単純な開閉運動であるタッピング運動は、下顎の安静時を除けば顎運動系におけるエネルギーの消耗や負担が最も少ない運動の1つと考えられている³⁶⁾。健常者ではタッピング運動の終末位であるタッピングポイントの分布が狭い領域に収束することが知られており³⁷⁾、EMG バイオフィードバック法と併用することで下顎位をより安定させることができる。

頻度を変えてタッピング運動を行わせた時の咬合力と咬筋 EMG を観察する³⁸⁾ と、図 4A に示されるように低頻度のタッピング運動時では咬合力波形が二峰性を示し、頻度を高めると 2 番目の波形が消失して単峰性になる。それに対応して咬筋 EMG の歯牙接触以降の等尺性収縮成分が激減する (図 4B)。歯牙接触以降の等尺性収縮成分の成因は歯根膜-咬筋反射による筋活動と考えられる。それゆえ、高頻度のタッピング運動が歯根膜-咬筋反射の緊張性成分を縮小させることによって、

タッピング運動軌跡の再現性を高めていると考えられる。前述したように、非侵害性の歯根膜刺激による同期した開口反射活動がヒトでも確認^{39,40)} されており、高頻度のタッピング運動が下顎位を安定させタッピングポイントを収束させる重要な理由の1つと考えても良い。

今後の展開

視線を上下に変化するだけで、図 5 のように下顎位 (タッピングポイント) が前後に移動することを明らかにしつつある。さらに、プリズム眼鏡の装着により眼球を動かさずに視線だけを変化させた場合でも同様に下顎位が規則的に変化することから、図 1 中の破線の制御系が想定される。今後さらに詳細に明らかにしていきたいと考えている。

内容要旨：下顎位の制御に関わる各種の感覚情報の役割について、3つの観点から考察した。第1は下顎位感覚による下顎位の制御で、咬合していない場合には筋紡錘感覚と顎関節感覚を利用するのに対し、咬合時にはさらに歯根膜感覚や義歯床下粘膜感覚が制御する。第2は顎・顎反射による下顎位の制御で、下顎張反射は下顎安静位を保持するのに役立ち、緊張性顎反射は顎位の変化による咬合位の水平移動に関わっている。第3はバイオフィードバックによる下顎位の制御で、EMG バイオフィードバック法にタッピング運動を併用した訓練で健常時の下顎位が容易に再現できる。

文 献

- Klineberg, I.J.: Influences of temporomandibular articular mechanoreceptors on functional jaw movements. *J. Oral Rehabil.* **7**: 307-317, 1980.
- Morimoto, T. and Kawamura, Y.: Conditioning-effect of vibratory stimulation on dimension discrimination of objects held between human tooth arches. *Arch. Oral Biol.* **21**: 219-220, 1976.
- Morimoto, T. and Kawamura, Y.: Interdental thickness discrimination and position sense of the mandible. Perryman, J.H. (edit.): *Oral Physiology and Occlusion*. Pergamon Press, New York, 1978, pp. 149-169.
- 宗形芳英: 生命科学における咬合/咬合の基準, 顎口腔機能よりみて, *ザ・クインテッセンス* **15**: 2097-2105, 1996.
- Munakata, Y.: The effects of changes in bite pressure and mucosal stimulation on the perception of mandibular position in man. *Arch. Oral Biol.* **31**: 17-20, 1986.
- Munakata, Y. and Kasai, S.: Contribution of the mucosal tactile information to the mandibular position sense in patients wearing dentures. *J. Oral Rehabil.* **19**: 649-654, 1992.
- Miles, T.S., Flavel, S.C. and Nordstrom, M.A.: Control of human mandibular posture during locomotion. *J. Physiol.* **554**: 216-226, 2004.
- Harrison, F. and Corbin, K.B.: The central pathway for the jaw-jerk. *Am. J. Physiol.* **135**: 439-445, 1941.
- Morimoto, T., Inoue, T., Masuda, Y. and Nagashima, T.: Sensory components facilitating jaw-closing muscle activities in the rabbit. *Exp. Brain Res.* **76**: 424-440, 1989.
- Hidaka, O., Morimoto, T., Kato, T., Masuda, Y., Inoue, T. and Takada, K.: Behavior of jaw muscle spindle afferents during cortically induced rhythmic jaw movements in the anesthetized rabbit. *J. Neurophysiol.* **82**: 2633-2640, 1999.
- Goldberg, L.J.: Masseter muscle excitation induced by stimulation of periodontal and gingival receptors in man. *Brain Res.* **32**: 369-381, 1971.
- Funakoshi, M. and Amano, N.: Periodontal jaw muscle reflexes in the albino rat. *J. Dent. Res.* **53**: 598-605, 1974.
- Sherrington, C.S.: Reflexes elicitable in the cat from pinna vibrissae and jaws. *J. Physiol.* **51**: 404-431, 1917.
- Hannam, A.G. and Matthews, B.: Reflex jaw opening in response to stimulation of periodontal mechanoreceptors in the cat. *Arch. Oral Biol.* **14**: 415-419, 1969.
- Munakata, Y. and Kasai, S.: Comparison of jaw-opening reflex response elicited by anterior and posterior tooth tapping in the cat. *Arch. Oral Biol.* **34**: 645-648, 1989.
- Smith, A.: The coactivation of antagonist muscles. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* **59**: 733-747, 1981.
- Gribble, P.L., Mullin, L.I., Cothros, N. and Mattar, A.: Role of cocontraction in arm movement accuracy. *J. Neurophysiol.* **89**: 2396-2405, 2003.
- Eriksson, P.-O., Haggman-Henrikson, B., Nordh, E. and Zafar, H.: Co-ordinated mandibular and head-neck movements during rhythmic jaw activities in man. *J. Dent. Res.* **79**: 1378-1384, 2000.
- Kohno, S., Matsuyama, T., Medina, R.U. and Arai, Y.: Functional-rhythmical coupling of head and mandibular

- movements. *J. Oral Rehabil.* **28**: 161-167, 2001.
- 20) Clark, G.T., Browne, P.A., Nakano, M. and Yang, Q.: Co-activation of sternocleidomastoid muscles during maximum clenching. *J. Dent. Res.* **72**: 1499-1502, 1993.
 - 21) Shimazaki, K., Matsubara, N., Hisano, M. and Soma, K.: Functional relationships between the masseter and sternocleidomastoid muscle activities during gum chewing. *Angle Orthodontist*. **76**: 452-458, 2006.
 - 22) 吉田恵一: 咬合機能時における胸鎖乳突筋の機能に関する筋電図学的解析. *口病誌* **55**: 53-70, 1988.
 - 23) 小林 博: 歯および前額部の機械的刺激により観察される胸鎖乳突筋の反射性活動. *口病誌* **57**: 385-392, 1990.
 - 24) 桃沢 尚: ヒト歯根膜刺激に対する胸鎖乳突筋の検討. *口病誌* **74**: 21-26, 2007.
 - 25) Sumino, R. and Nozaki, S.: Trigemino-neck reflex: Its peripheral and central organization. Anderson, D.J. and Matthews, B. (edit.): *Pain in the Trigeminal Region*, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam-New York, 1977, pp. 365-374.
 - 26) Alstermark, B., Pinter, M.J., Sasaki, S. and Tantisira, B.: Trigeminal excitation of dorsal neck motoneurons in the cat. *Exp. Brain Res.* **92**: 183-193, 1992.
 - 27) 宗形芳英, 辻 満: 口腔・顔面感覚情報による頸背筋活動の反射性制御. *顎機能誌* **1**: 111-115, 1994.
 - 28) Zeredo, J.L., Toda, K. and Soma, K.: Neck motor unit activities induced by inputs from periodontal mechanoreceptors in rats. *J. Dent. Res.* **81**: 39-42, 2002.
 - 29) Funakoshi, M., Fujita, N. and Takehana, S.: Relations between occlusal interference and jaw muscle activities in response to changes in head position. *J. Dent. Res.* **55**: 684-690, 1976.
 - 30) Satoh, Y., Ishizuka, K. and Murakami, T.: Modulation of the jaw-opening reflex by stimulation of the vestibular nuclear complex in rats. *Neurosci. Lett.* **457**: 21-26, 2009.
 - 31) Satoh, Y., Ishizuka, K. and Murakami, T.: Modulation of the masseteric monosynaptic reflex by stimulation of the vestibular nuclear complex in rats. *Neurosci. Lett.* **466**: 16-20, 2009.
 - 32) Budzynski, T. and Stoyva, J.: Feedback-induced muscle relaxation: Application to tension headache. *J. Behav. Ther. Exp. Psychiat.* **1**: 205-211, 1970.
 - 33) Budzynski, T. and Stoyva, J.: An electromyographic feedback technique for teaching voluntary relaxation of the masseter muscle. *J. Dent. Res.* **52**: 116-119, 1973.
 - 34) 渡辺 誠, 根本一男: バイオフィードバックと歯科臨床, *歯界展望* **52**: 9977-989, 1978.
 - 35) 佐々木啓一, 稲井哲司, 宗形芳英, 渡辺 誠, 鹿沼晶夫: バイオフィードバック下でのタッピング運動の特徴. *顎機能* **3**: 121-126, 1985.
 - 36) 藤井弘之: タッピング (tapping) 運動. 石岡 靖, 小林義典, 長谷川成男, 河野正司, 林 豊彦編: *顎口腔機能分析の基礎とその応用 —ME 機器をいかに臨床に活かすか—*. デンタルダイヤモンド社, 東京, 1991, pp. 78-87.
 - 37) 川口豊造: 電氣的測定装置による習慣性閉口運動および嚥下運動時の歯牙接触位に関する研究. *補綴誌* **12**: 398-423, 1968.
 - 38) Munakata, Y., Tsuji, M. and Kasai, S.: Occlusal force pattern during rhythmic human tapping movement. *J. Oral Rehabil.* **18**: 265-272, 1991.
 - 39) 渡辺 誠, 宗形芳英, 佐々木啓一, 高藤道夫, 鹿沼晶夫: ヒトの二種の開口反射応答について. *歯科ジャーナル* **15**: 362-363, 1982.
 - 40) Yamada, Y. and Ash, M.M.Jr.: An electromyographic study of jaw opening and closing reflexes in man. *Arch. Oral Biol.* **27**: 13-19, 1982.

著者プロフィール



むな かた よし えい
宗 形 芳 英

1953 年生まれ。福島県出身

略歴

1978 年 東北大学歯学部歯学科 卒業
 1982 年 東北大学大学院歯学研究科 修了
 1982 年 東北大学歯学部附属病院助手
 1987 年 東北歯科大学 (現 奥羽大学) 歯学部助手
 1988 年 同 講師
 1999 年 同 助教授
 2008 年 同 教授